

Rozwój wzorców parametrów sieci energetycznej

dr hab. inż. Andrzej OLENCKI, prof. UZ

Projektant urządzeń elektronicznych w zakładach Lumel 1977-89, Immel 1989-90 i Calmet od 1990. Studia (Bydgoszcz, Charków 1972-77, doktorat (Wrocław 1984-86), habilitacja (Kijów 1989-91). Od 1991 profesor Instytutu Informatyki i Elektroniki. Zainteresowania to elektronika i projektowanie urządzeń elektronicznych – kalibratory napięć, prądów i mocy, mierniki parametrów sieci i jakości energii, testery liczników energii i zabezpieczeń.

e-mail: A.Olencki@iie.uz.zgora.pl



Streszczenie

Omówiono fizyczne modele trójfazowej sieci energetycznej – wzorce parametrów sieci sinusoidalnej i niesinusoidalnej, spokojnej i niespokojnej. Przedstawiono rozwój wzorców parametrów sieci energetycznej i ich koncepcje, od pierwszego ROTEK 800 do najnowszego krajowego CALMET C300, oraz perspektywy ich dalszego rozwoju.

Słowa kluczowe: kalibrator mocy, wymuszalnik, parametry jakości energii

Development of power network parameters standards

Abstract

This article presents an idea of a physical models of three phase network – standards of sinusoidal and nonsinusoidal, stable and variable power network parameters named as the Power Calibrators or Electrical Power Standards. Terminology problems are discussed in section 1. Pyramid of standards for calibration of power network parameters meters and power quality analysers (fig.1) and actual model power network with description of quantity and quality of energy (section 3) are described. There is presented progress of power network parameters standards and their concepts, from the first standards of sinusoidal and stable power network parameters ROTEK 800 [8] from USA and LUMEL SQ33 [9] from Poland to the newest standards of nonsinusoidal and variable power network parameters ROTEK 8100 [14] and FLUKE 6100A [15] from USA and CALMET C300 [20] from Poland. Progress analysis in construction of multiphase relay testers (section 5), advantages of their physical realisations and philosophy of their programming makes possible to design and introduce modern medium accuracy 0,05 and portable the C300 three phase power calibrator. Idea and construction of the new generation stationary single position meter test bench model LS3, as example of using the C300 calibrators is presented (fig.6). The C300 calibrators, similar to SQ33 calibrators 20-ty years ago, are keeping our good position in the world market in medium accuracy power network parameters standards.

Keywords: three phase power calibrator, phantom load, power quality parameters

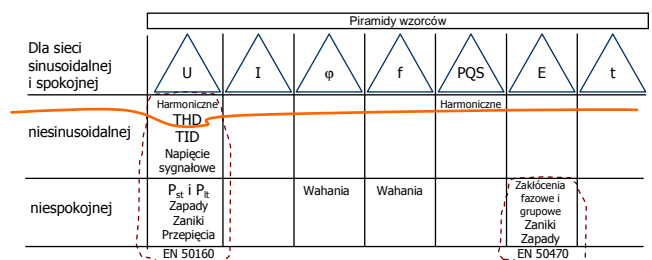
1. Modele sieci energetycznej

Stan trójfazowej sieci energetycznej można przedstawić w postaci wykresu wektorowego i zestawu wartości takich parametrów sieci jak: napięcia fazowe, prądy fazowe, kąty przesunięcia fazowego (lub współczynniki mocy), kąty między napięciami, częstotliwość oraz moce i energie czynne, bierne i pozorne. Do wyliczenia wartości tych parametrów jest potrzebna definicja parametru i jego model analityczny w postaci równania, które są implementowane w algorytmach pomiaru (dla mierników) lub odtwarzania (dla źródeł) wybranego parametru sieci. Zatem zbiór definicji i równań parametrów sieci stanowi, dla potrzeb pomiarowych, model analityczny trójfazowej sieci energetycznej. Dla sieci sinusoidalnej (kształty napięć i prądów są sinusoidalne) i spokojnej (czas zmiany parametru jest wielokrotnie dłuższy od okresu napięć i prądów) model ten jest znany od wielu lat.

Model fizyczny miernika jest zwyczajowo nazywany jako *miernik parametrów sieci energetycznej* lub *analyzer jakości energii*. Model fizyczny źródła przeznaczonego do odtwarzania parametrów sieci energetycznej nie ma dotychczas ustalonej nazwy. Jako urządzenie techniczne przeznaczone do odtwarzania wielkości fizycznych jest narzędziem pomiarowym – wzorcem [1], w tym przypadku proponuje się nazwać *wzorcem parametrów trójfazowej sieci energetycznej*, w skrócie - *wzorcem parametrów sieci*. Urządzenia te mają dotychczas różne nazwy handlowe, czasami są to jeszcze zestawy kilku-kilkunastu urządzeń. Termin wzorec parametrów sieci nie jest jeszcze stosowany, ale, analogicznie do przyjętego już do praktycznego stosowania terminu mierniki parametrów sieci, ewolucja zmian terminologicznych, dokonywana w znacznym stopniu przez lansowanie nowych nazw przez producentów nowych rodzajów urządzeń, zmierza w tym kierunku. Przykładem najnowszego krajowego wzorca parametrów sieci jest trójfazowy kalibrator mocy i tester aparatury energetycznej CALMET C300 [2].

2. Wzorce i wzorcowanie mierników parametrów sieci

Tradycyjna koncepcja zapewnienia spójności pomiarowej bazy na koncepcji hierarchicznej piramidy wzorców – układu wzorców jednostki wybranej wielkości i hierarchicznego układu sprawdzian przyrządów do pomiaru wybranej wielkości. Układy hierarchiczne obejmują wszystkie spotykane dokładności, jednak główną uwagę poświęca się czubkom piramid wzorców, gdzie są wykonywane pomiary z najwyższymi dokładnościami. Wzorcowanie miernika (lub wzorca) parametrów sieci wymaga korzystania z siedmiu piramid wzorców: napięcia, prądu, kąta fazowego, częstotliwości, mocy i energii oraz czasu (rys.1).



Rys. 1. Piramidy wzorców do wzorcowania mierników parametrów sieci
Fig. 1. Pyramid of standards for calibration of power network parameter meters

Tradycyjne piramidy wzorców są dobrze przystosowane do wzorcowania mierników lub wzorców parametrów sieci sinusoidalnej i spokojnej, ponieważ poszczególne parametry sieci, w tym energię elektryczną, traktują w zasadzie tylko ilościowo, a ich parametry jakościowe, jeżeli są brane pod uwagę, są traktowane jako parametry nieinformacyjne i mają miejsce co najwyżej w specyfikacji warunków odniesienia.

Wzrost liczby i mocy jednostkowej nieliniowych, niespokojnych i niesymetrycznych odbiorników [3] powoduje, że sieć energetyczna staje się coraz bardziej niesinusoidalna i niespokojna, rośnie liczba parametrów sieci opisujących stopień odstępstwa sieci od sinusoidalnej i spokojnej a parametry te stają się parametrami informacyjnymi, które nie są objęte obszarem działania tradycyjnych piramid wzorców. Przykładowo tradycyjny układ wzorca napięcia przemiennego nie przewiduje wzorcowania miernika współczynnika TID [4] (interharmoniczne opisujące niesinusoidalność sieci) czy miernika współczynnika Plt [5] (flicker - długoczasowa dawka wahań opisująca niespokojność sieci).

Korzystniejsza sytuacja jest w zakresie wzorca energii elektrycznej. Już od wielu lat, systematycznie co kilka lat, zmieniają się normy na liczniki energii. Kolejne normy wprowadzają wymagania sprawdzania liczników w warunkach coraz bardziej niesinusoidalnych, a ostatnio nawet i niespokojnych sieci. Początkowo wymagano badań tylko na wpływ trzeciej harmonicznej prądu. Najnowsze normy na liczniki energii elektrycznej EN 50470 wymagają już badań na wpływ zakłóceń grupowych oraz zaników i zapadów napięcia.

3. Model sieci z opisem ilości i jakości energii

Kilka lat temu nastąpiła zasadnicza zmiana w wymaganym normami opisie stanu trójfazowej sieci energetycznej, w którym uwzględniono model ilościowy i jakościowy energii elektrycznej. Urealniono model sieci jako sieci niesinusoidalnej i niespokojnej. Ustalono definicje, model analityczny i zasady pomiaru nowych parametrów sieci (IEC 61000-4-30) oraz zasady ich obróbki statystycznej dla potrzeb ich rejestracji, analizy i oceny jakości energii na zgodność z wymaganiami (EN 50160). Ustalenia te zamknęły etap części dyskusji na temat modelu sieci, głównie w zakresie kształtu napięcia i zmian napięcia.

Normalizacja parametrów jakości energii uruchomiła lawinę ofert analizatorów jakości energii - nawet "zwykłym" woltomierzom o czasie pomiaru 1 s i bez możliwości obróbki statystycznej nadawano tę nazwę. Pomimo, że do oceny jakości energii, w świetle w/w norm wystarczy ocena jakości napięć, wiele analizatorów jest wyposażanych w funkcje oceny jakości prądów i mocy, co jest korzystne dla potrzeb diagnostyki przyczyn pogorszenia jakości napięć i wyjaśniania losowych zdarzeń w sieci. Pierwszym opracowanym i produkowanym w kraju analizatorem jakości energii w sensie spełnienia w/w norm jest analizator CALMET NSQ 400 [6]. Funkcja analizy jakości energii zaczyna być już traktowana jako jedna z dodatkowych funkcji w innych urządzeniach – przykładem może tu być krajowy tester liczników energii z funkcją monitorowania jakości energii CALMET Caltest 300 [7].

4. Wzorce parametrów sieci spokojnej

Pierwszy wzorec parametrów sieci ROTEK 800 był wdrożony w 1976 roku w USA i był zaprojektowany jako zestaw trzech jednofazowych kalibratorów mocy [8]. Ta koncepcja konstrukcyjna oznaczona jako $3F=3 \times 1F$ utrzymana jest przez firmę Rotek do dzisiaj. Prawdopodobnie pierwszym wzorcem parametrów sieci w Europie był krajowy kalibrator LUMEL SQ33 [9], zaprojektowany jako trójfazowy kalibrator mocy w jednej obudowie wg śmiałej wtedy koncepcji konstrukcyjnej $3F=1 \times 3F$ (rys.2), wdrożony w 1988 roku i produkowany do dzisiaj jako INMEL 33. Urządzenia te są wzorcami parametrów sieci sinusoidalnej – odtwarzały trójfazowy wektor sinusoidalnych napięć i prądów. Już wtedy były wyposażone w wejścia impulsowe do realizacji funkcji testera liczników energii. Pierwszy krajowy wzorec parametrów sieci niesinusoidalnej CALMET C233 [10], zaprojektowano jako zestaw trzech jednofazowych kalibratorów mocy (koncepcja $3F=3 \times 1F$) z funkcją programowania wartości zniekształceń o widmie fali prostokątnej i wdrożono w 1993 roku. Kolejny (2003r) krajowy wzorec parametrów sieci niesinusoidalnej INMEL 8033 [11] miał już funkcję programowania harmonicznych. Koncepcja tych wzorców bazuje na systemie pomiarowym z kalibratorem kontrolnym i są one nazywane jako kalibratory mocy i energii (Power and Energy Calibrators).



Rys. 2. Widok pierwszych krajowych trójfazowych kalibratora mocy z zastosowaniem koncepcji konstrukcyjnej $3F=3 \times 1F$ (kalibrator SQ33) i $3F=3 \times 1F$ (kalibrator C233)

Fig. 2. View of the first polish three phase power calibrators with using construction version marked $3F=1 \times 3F$ (calibrator SQ33) and $3F=3 \times 1F$ (calibrator C233)

Równoległe, dla potrzeb wzorcowania liczników energii, rozwijały się wzorce parametrów sieci bazujące na koncepcji systemu pomiarowego z miernikiem kontrolnym, przykładowo ZERA MT3000-120A [12] lub MTE PTS400.3-120A [13], i nazywane jako przenośne systemy testujące (Portable Test System). Systemy z licznikiem kontrolnym są wzorcami dedykowanymi dla potrzeb badania liczników i z tego powodu są mniej uniwersalne, jakkolwiek są one wyposażane w funkcje programowania harmonicznych.

5. Wzorce parametrów sieci niespokojnej

Kilka lat temu, w odpowiedzi na unormowanie parametrów jakości energii, pojawiły się pierwsze wzorce parametrów sieci niespokojnej: ROTEK 8100 [14] zaprojektowany tradycyjnie jako zestaw trzech kalibratorów jednofazowych i bardzo podobny FLUKE 6100A [15] pod nazwą *Electrical Power Standard* a w polskiej wersji językowej oferowany jako *wzorzec energii elektrycznej* [16]. Urządzenia te oferowane w klasie dokładności 0,01, wg szczegółowych specyfikacji parametrów mogą być zaliczone do klasy około 0,02, przy czym w tego rodzaju urządzeniach klasa dokładności dotyczy, w pierwszej kolejności mocy przy jednostkowym współczynniku mocy, a następnie napięć i prądów. W stosunku do pierwszego wzorca parametrów sieci ROTEK 800, uzyskano około dwu-trzykrotne zwiększenie klasy dokładności oraz zaimplementowano następujące funkcje:

- funkcje parametrów sieci niesinusoidalnej - funkcje generacji kształtów napięć i prądów (harmoniczne, interharmoniczne i specjalne kształty jak *zakłócenia fazowe Phase Fired Waveform* i *zakłócenia grupowe Burst Fired Waveform* [17]),
- funkcje parametrów sieci niespokojnej - funkcje symulacji zmian napięć, prądów, częstotliwości, kąta i harmonicznych w funkcji czasu.

W omawianych wzorcach parametrów sieci niespokojnej zachowano pierwotną koncepcję programowania nastaw z płyty czołowej kasety (rys.3), co oczywiście prowadzi do znacznych nadmiarowości sprzętowych i możliwe również z tego powodu, w ciągu trzydziestu lat nie udało się zmniejszyć gabarytów i masy tych urządzeń – są to urządzenia duże i ciężkie, w wersji trójfazowej $3 \times 55A$ lub $3 \times 80A$ ważą 75-90 kg a ich cena waha się w okolicy 80-110 tys. euro. Dużą zaletą tych kalibratorów jest dokładna specyfikacja parametrów kształtów sygnałów i zmian parametrów w funkcji czasu – pod tym względem są to pierwsze wzorce parametrów sieci niesinusoidalnej i niespokojnej.



Rys. 3. Kalibratory mocy w wersji trójfazowej - ROTEK 8100 [14] i FLUKE 6100A [15]

Fig. 3. Power calibrators in three phase version - ROTEK 8100 [14] and FLUKE 6100A [15]

Z kolei w kraju, przez dwadzieścia lat nie udało się zmniejszyć gabarytów i masy kalibratorów mocy w stosunku do pierwszego wzorca SQ 33, który ważył 45 kg. W tym czasie rozwijały się szybko wielofazowe testery zabezpieczeń, zarówno w kierunku zwiększania dokładności, jak i implementowania funkcji odtwarzania parametrów sieci. Doszło do tego, że takie testery jak ISA DRTS 6 [18] czy OMICRON CMC 256 [19] zaczęły mieć cechy wzorców parametrów sieci, co zaczęto podkreślać dwuczłonowymi nazwami, jak *Protection Relay Test Set and Universal Calibrator*. Potrzeba stosowania testerów zabezpieczeń w obiektach energetycznych wymusiła zmniejszanie ich gabarytów i masy. Z kolei zmniejszenie wymiarów płyty czołowej i potrzeba ergonomicznej obsługi testera i wizualizacji procesu zautomatyzowanego sprawdzania urządzeń spowodowała, że na płycie czołowej pozostawiono jedynie gniazda wyjść i wejść testera (rys.4), a funkcje programowania testera i wizualizacji procesów pomiarowych przeniesiono do programu komputerowego. Zmieniono przy tym filozofię obsługi testera na korzyść programowania procedur pomiarowych i automatyzacji testów.



Rys. 4. Wielofazowy tester zabezpieczeń OMICRON CMC256plus [19]

Fig. 4. OMICRON CMC256plus Multiphase Relay Test Set [19]

Zaobserwowany trend rozwoju testerów zabezpieczeń wykorzystano w projekcie pierwszego krajowego wzorca parametrów sieci niesinusoidalnej i niespokojnej – kalibratora C300 [2] (rys.5), w którym w stosunku do wcześniejszych krajowych wzorców parametrów sieci spokojnej polepszo dokładność do klasy 0,05, rozszerzono zakres prądów do 3x100A, zmniejszono gabaryty i masę do 32 kg, zredukowano cenę o 30%.



Rys. 5. Trójfazowy kalibrator mocy CALMET C300 [20]

Fig. 5. CALMET C300 Three Phase Power Calibrator [20]

Kalibrator C300, podobnie jak nowoczesne testery zabezpieczeń, jest zaprojektowany jako system pomiarowy wszechstronny i elastyczny. Wszechstronność jest tu rozumiana jako możliwość wykorzystania urządzenia jako kalibratora – wzorca parametrów sieci sinusoidalnej i niesinusoidalnej, spokojnej i niespokojnej, oraz jako automatycznego testera wielu rodzajów urządzeń stosowanych w energetyce, w tym liczników energii i zabezpieczeń. Wszechstronność kalibratora C300 jest rozwijana zarówno w zakresie implementacji funkcji odtwarzania nowych parametrów jakości energii, jak i w zakresie rozwijania funkcji automatycznego testera. Jest to możliwe dzięki elastyczności kalibratora C300, który jest zaprojektowany jako odpowiednik "bezobsługowego" przetwornika cyfrowo-analogowego z możliwością pracy w położeniach 2D - podobnie jak testery zabezpieczeń.

Cechy te wykorzystano w projekcie pierwszej krajowej stacjonarnej jednostanowiskowej stacji wzorcowiczej typu LS3 [21], w której jako zasilacz pomiarowy zastosowano kalibrator C300 a dzięki zastosowaniu licznika kontrolnego RADIAN serii RD, uzyskano klasę dokładności do 0,01. Elegancka, ekonomiczna i dwufunkcyjna stacja LS3 wyznacza przypuszczalny kierunek przyszłego rozwoju wzorców parametrów sieci. Ekonomiczny cenowo, małowymiarowy i dokładny wzorec parametrów sieci przypuszczalnie będzie zawierał [22]:

- kalibrator średniej dokładności z funkcjami wzorca parametrów sieci niesinusoidalnej i niespokojnej,
- licznik kontrolny wysokiej klasy dokładności z funkcjami pomiaru parametrów jakości energii,
- komputer ze standardowym programem do sterowania kalibratorem i licznikiem lub ze specjalistycznym programem do sterowania wzorcem, i ewentualnie,
- specjalny stół pomiarowy, ponieważ kalibrator i licznik mogą się znajdować pod blatem stołu, zwalniając miejsce na blacie stołu do dyspozycji użytkownika wzorca (rys.6).



Rys. 6. Krajowa trójfazowa jednostanowiskowa stacja wzorcownicza typu LS3 [21]
Fig. 6. Polish three phase stationary single position meter test station model LS3 [21]

Budową wzorca parametrów sieci niespokojnej zajmują się również ośrodki w Rosji - ENERGOTEHNIKA Resurs-K2 [23] nazwany jako wielofunkcyjny kalibrator napięć i prądów przemiennych i w Chinach - KINGSIN KS 833 [24] nazwany jako wzorzec mocy i kalibrator (rys.7). Pod względem dokładności, zakresu prądów, funkcji, gabarytów i masy, urządzenia te znacznie odbiegają od poziomu uzyskanego w omawianych wcześniej wzorcach, które wyznaczają aktualny stan techniki światowej.



Rys. 7. Trójfazowe kalibratory mocy – ENERGOTEHNIKA Resurs-K2 [23] i KINGSIN KS833 [24]

Fig. 7. Three phase power calibrators - ENERGOTEHNIKA Resurs-K2 [23] and KINGSIN KS833 [24]

6. Wnioski

Dyskusja o potrzebie budowy krajowego nowoczesnego wzorca parametrów sieci energetycznej, umożliwiającego odtwarzanie parametrów sieci niesinusoidalnej i niespokojnej dla potrzeb wzorcowania mierników parametrów jakości energii ma dziesięcioletnią historię [10]. Kalibrator C300 zaprojektowaliśmy i wdrożyliśmy do produkcji jako przenośny, średniej dokładności 0,05% wszechstronny wzorzec parametrów sieci, który w wielu zastosowaniach zastępuje skomplikowane, duże, ciężkie i drogie zestawy jednofazowych kalibratorów i wzmacniaczy mocy wymagane do wzorcowania szerokiego asortymentu przyrządów pomiarowych aż do 100A w trójfazowych układach połączeń. Kalibrator C300 w stosunku do najdokładniejszych wzorców [14,15] jest około trzykrotnie mniej dokładny i tyle samo razy mniejszy i lżejszy - w średniej klasie dokładności wyznacza aktualny poziom światowy. Jego koncepcja bazuje na dobrze wypróbowanej nami konstrukcji 3F=1x3F i zastosowaniu filozofii obsługi zacieranej z najnowocześniejszych wielofazowych testerów zabezpieczeń.

Kalibrator C300 pozwala utrzymać naszą dobrą pozycję wypracowaną 20-cia lat temu w trójfazowych kalibratorach mocy średnich klas dokładności, kiedy opracowaliśmy i wdrożyliśmy pierwszy krajowy wzorzec parametrów sieci sinusoidalnej i spokojnej - kalibrator SQ33 [9], który wówczas w stosunku do najdokładniejszych wzorców [8] również był około trzykrotnie mniej dokładny i również tyle samo razy mniejszy i lżejszy. W czasie tych dwu-

dziestu lat, i w kraju, i na świecie, około trzykrotnie polepszone dokładność kalibratorów mocy.

W przypadku potrzeby podniesienia dokładności wzorca parametrów sieci energetycznej proponuje się dodatkowo zastosowanie miernika kontrolnego, np. licznika kontrolnego z funkcją pomiaru parametrów jakości energii. Przykładem takiego wzorca z zastosowaniem metody miernika kontrolnego może być zaprezentowana propozycja stacji wzorcowniczej LS3.

7. Literatura

- [1] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna, WNT, Warszawa 2000.
- [2] Olencki A.: Trójfazowy kalibrator mocy & automatyczny tester urządzeń elektrycznych, Pomiary, Automatyka, Kontrola 2006, nr 6 wyd. spec.
- [3] Hanzelka Zb.: Jakość energii w warunkach rynku energii, Biuletyn URE 5/2003, <http://www.sep.krakow.pl>.
- [4] Olencki A., Urbański K., Mróz P.: Pomiary interharmonicznych w ocenie jakości energii elektrycznej, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, 2008, nr 6.
- [5] Olencki A., Urbański K.: Metody pomiaru współczynnika migotania światła – flikera, Pomiary, Automatyka, Kontrola 2007, nr 5.
- [6] Śnierzewski M.: Jakość zasilania – wpływ odbiorników, Elektrosytemy, grudzień 2007.
- [7] Olencki A., Szmytkiewicz J., Urbański K.: Testowanie liczników energii z funkcją monitorowania jakości energii elektrycznej, Elektroinfo 2008, nr 11.
- [8] About Us, Rotek, USA, <http://www.rotek.com>.
- [9] ZN-87/MERA-005/324. Kalibrator mocy i energii w układzie trójfazowym typu SQ-33. Norma zakładowa, Lumel, Zielona Góra
- [10] Olencki A., Urbański K.: Kalibratory mocy prądu przemiennego, Krajowy Kongres Metrologii, 1998, Gdańsk.
- [11] Kaczmarek J, Kulesza K.: Koncepcja budowy trójfazowego kalibratora napięć i prądów przemiennych, Pomiary, Automatyka, Kontrola 2002, nr 7-8.
- [12] Moving Test – MT3000 Three-Phase Portable Test System, Zera, Niemcy, <http://www.zera.de>.
- [13] PTS 400.3, class 0,02 Modular three-phase Portable Test System, MTE, Szwajcaria, <http://www.mte.ch>.
- [14] Model 8100 Power and Energy Kalibrator, Operator Manual, Rev.1.3, Rotek, USA.
- [15] 6100A Electrical Power Standard, Sers Manual, PN1887628 Nov. 2006, Fluke, USA, <http://ca.fluke.com>.
- [16] Wzorzec energii elektrycznej 6100A, <http://www.fluke.pl>.
- [17] Electricity metering equipment (a.c.). Part 3: Particular requirements – Static meters for active energy (class indexes A, B and C), EN 50470-3.
- [18] DRES-6 Advantced Protection Relay Test Set and Measurement System, 12.2006, ISA, Włochy, <http://www.isatest.com>.
- [19] CMC 256plus – protection relay test set and uniwersal kalibrator, Technical Data, 2007, Omicron, Austria, <http://www.omicron.at>.
- [20] Trójfazowy kalibrator mocy i tester aparatury energetycznej typu C300, Instrukcja obsługi, 2008, Calmet, Polska, <http://www.calmet.com.pl>.
- [21] Trójfazowa jednostanowiskowa stacjonarna stacja wzorcownicza typu LS3, Calmet, Polska, <http://www.calmet.com.pl>.
- [22] Olencki A., Urbański K., Szmytkiewicz J.: Stacjonarne jednostanowiskowe stacje wzorcownicze, KNWS'09, Rydzyna k. Leszna, Polska.
- [23] Mnogofunkcyjny kalibrator pieremiennego napięzenia i toka "Resurs-K2", Rukowodstwo po eksploatacji, 2000, Energotehnika, Rosja, <http://www.entp.ru>.
- [24] KS833 Standard Power & Calibrator, 2009, Kingsin, Chiny, <http://www.kingsin.net>.